

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

JC978 U.S. PTO  
09/925153  
08/08/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 8月 9日

出願番号

Application Number:

特願2000-241581

出願人

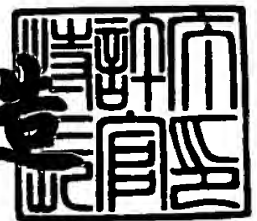
Applicant(s):

ソニー株式会社

2001年 5月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3048061

【書類名】 特許願

【整理番号】 0000547804

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/778  
H01L 29/812  
H01L 21/205

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 中村 文彦

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 倉持 尚叔

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 河合 弘治

【特許出願人】

    【識別番号】 000002185

    【氏名又は名称】 ソニー株式会社

    【代表者】 出井 伸之

【代理人】

    【識別番号】 100076059

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 逢坂 宏

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 001775

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9707812

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 絶縁性窒化物層及びその形成方法、半導体装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒化物からなる III-V 族化合物半導体に、主として IIB 族元素を高濃度に添加してなる絶縁性窒化物層。

【請求項 2】 実質的に前記 IIB 族元素を不純物として高濃度に添加する、請求項 1 に記載した絶縁性窒化物層。

【請求項 3】 前記 IIB 族元素のうち少なくとも亜鉛を高濃度に添加する、請求項 2 に記載した絶縁性窒化物層。

【請求項 4】 前記 IIB 族元素の添加量が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上である、請求項 1 に記載した絶縁性窒化物層。

【請求項 5】 前記窒化物からなる III-V 族化合物半導体が、GaN、AlN、InN、BN、又はこれらの混合結晶からなる、請求項 1 に記載した絶縁性窒化物層。

【請求項 6】 窒化物からなる III-V 族化合物半導体を気相成長法によって成膜するに際し、室温での蒸気圧が 10 mmHg 以上の不純物含有ガスを前記 III-V 族化合物半導体の原料ガスと共に供給して、前記不純物を高濃度に添加した絶縁性窒化物層を形成する、絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 7】 前記不純物含有ガスとして主として IIB 族元素の化合物ガスを使用する、請求項 6 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 8】 前記不純物含有ガスが実質的に前記 IIB 族元素の化合物ガスからなる、請求項 7 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 9】 前記化合物ガスが少なくとも亜鉛の化合物ガスからなる、請求項 8 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 10】 前記化合物ガスがジエチル亜鉛又はジメチル亜鉛等のアルキル亜鉛からなる、請求項 9 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 11】 前記不純物の添加量を  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上とする、請求項 6 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 1 2】 GaN、AlN、InN、BN、又はこれらの混合結晶からなる前記III-V族化合物半導体を成膜する、請求項 6 に記載した絶縁性窒化物層の形成方法。

【請求項 1 3】 窒化物からなるIII-V族化合物半導体に、主としてIIB族元素を高濃度に添加してなる絶縁性窒化物層を具備する半導体装置。

【請求項 1 4】 前記窒化物からなるIII-V族化合物半導体を構成材料の少なくとも一部に用いた半導体装置であって、電界効果トランジスタ、バイポーラトランジスタ、発光ダイオード、半導体レーザ及びフォトダイオードのいずれか 1 種又はそれ以上の素子を集積化する場合の素子分離層として、少なくとも前記絶縁性窒化物層が用いられている、請求項 1 3 に記載した半導体装置。

【請求項 1 5】 前記絶縁性窒化物層上に能動層が設けられている、請求項 1 3 に記載した半導体装置。

【請求項 1 6】 実質的に前記IIB族元素を不純物として高濃度に添加する、請求項 1 3 に記載した半導体装置。

【請求項 1 7】 前記IIB族元素のうち少なくとも亜鉛を高濃度に添加する、請求項 1 6 に記載した半導体装置。

【請求項 1 8】 前記IIB族元素の添加量が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上である、請求項 1 3 に記載した半導体装置。

【請求項 1 9】 前記窒化物からなるIII-V族化合物半導体が、GaN、AlN、InN、BN、又はこれらの混合結晶からなる、請求項 1 3 又は 1 4 に記載した半導体装置。

【請求項 2 0】 窒化物からなるIII-V族化合物半導体に、主としてIIB族元素を高濃度に添加してなる絶縁性窒化物層を具備する半導体装置の製造方法であって、

前記窒化物からなるIII-V族化合物半導体を気相成長法によって成膜するに際し、室温での蒸気圧が 1 0 mmHg 以上の不純物含有ガスを前記III-V族化合物半導体の原料ガスと共に供給して、前記不純物を高濃度に添加した前記絶縁性窒化物層を形成する工程と、

しかる後に、この絶縁性窒化物層上に、能動層を気相成長させる工程と

を有する、半導体装置の製造方法。

【請求項 2 1】 前記窒化物からなる III-V 族化合物半導体を構成材料の少なくとも一部に用いた半導体装置の製造方法であって、電界効果トランジスタ、バイポーラトランジスタ、発光ダイオード、半導体レーザ及びフォトダイオードのいずれか 1 種又はそれ以上の素子を集積化する場合の素子分離層として、少なくとも前記絶縁性窒化物層を形成する、請求項 2 0 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 2】 前記不純物含有ガスとして主として IIB 族元素の化合物ガスを使用する、請求項 2 0 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 3】 前記不純物含有ガスが実質的に前記 IIB 族元素の化合物ガスからなる、請求項 2 2 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 4】 前記化合物ガスが少なくとも亜鉛の化合物ガスからなる、請求項 2 3 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 5】 前記化合物ガスがジエチル亜鉛又はジメチル亜鉛等のアルキル亜鉛からなる、請求項 2 4 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 6】 前記不純物の添加量を  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上とする、請求項 2 0 に記載した半導体装置の製造方法。

【請求項 2 7】 GaN、AlN、InN、BN、又はこれらの混合結晶からなる前記 III-V 族化合物半導体を成膜する、請求項 2 0 に記載した半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、絶縁性窒化物層（特に不純物を添加（ドーブ）した絶縁性の窒化物からなる III-V 族化合物半導体で形成された絶縁性窒化物膜）及びその形成方法、及びそれを用いた半導体装置及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

窒化物からなる III-V 族化合物半導体を用いた半導体装置では、電気的な素

子分離を行うために、Mgをドーピングした絶縁性（高抵抗）Ga<sub>2</sub>N層を用いていた。例えば、Ga<sub>2</sub>NとAlGa<sub>2</sub>NからなるMISFET（Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor＝絶縁ゲート型又はMIS型電界効果トランジスタ）やHEMT（High Electron Mobility Transistor＝高移動度トランジスタ：FETの一種）等の半導体素子においては、絶縁性のサファイア基板上に各層を形成する際に、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0 ≤ x ≤ 1.0）低温バッファ層上にGa<sub>2</sub>N層を1 μm以上成長させ、更に能動層としてのGa<sub>2</sub>NとAlGa<sub>2</sub>Nとからなるヘテロ接合界面を形成する。

## 【0003】

その際に、電気的な素子分離を行うために、下地層のGa<sub>2</sub>N層を、IIA族元素をドーピングしたGa<sub>2</sub>N層、例えばMgをドーピングしたGa<sub>2</sub>N層に置き換えていた（文献：R.Dimitrov et al., Phys. Status solidi A 168(1998)R7）。この場合、MOCVD法（有機金属気相成長法）を用いてGa<sub>2</sub>NにMgドーピングを行うと、原料ガス中の水素がMgの活性化を妨げ、高抵抗化することが報告されている（文献：S.Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 31(1992)p.1258-1266）。

## 【0004】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、Mgの原料ガスとしてビス（メチルシクロペンタジエニル）マグネシウム（(MeCp)<sub>2</sub>Mg）やビス（シクロペンタジエニル）マグネシウム（Cp<sub>2</sub>Mg）を用いた場合、MgドーピングGa<sub>2</sub>N層の上の能動層にMgがオートドーピングされることにより、能動層の電導率の低下を生じるという問題がある。

## 【0005】

例えば、図12に示すように、AlGa<sub>2</sub>N/Ga<sub>2</sub>Nのヘテロ接合を利用したHEMTを作製するために、サファイア基板1に、アンドープGa<sub>2</sub>N核形成層（低温成長のバッファ層）2を30 nm厚に形成し、その上に、Mgをドーピングした高抵抗のGa<sub>2</sub>Nバッファ層3aを1.8 μm厚に成長させ、更にアンドープGa<sub>2</sub>Nチャネル層4を200 nm厚に、ヘテロ接合界面14を介してアンドープAlGa<sub>2</sub>Nスペーサー層5を3 nm厚に、n-AlGa<sub>2</sub>N：Siキャリア供給層6

( $n$ 型ドナー濃度  $2.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) を  $20 \text{ nm}$  厚に、アンドープ  $\text{AlGaIn}$  キャップ層 7 を  $15 \text{ nm}$  厚にそれぞれ成長させている (なお、この時、 $\text{Al}$  の組成比  $x$  は  $0.2$ )。なお、図中の 11 はソース電極、12 はゲート電極、13 はドレイン電極であり、ソース及びドレイン電極の直下はチャネル層 4 とのオーミックコンタクトをとるために合金化 (図示省略: 以下、同様) されている。また、スペーサ層 5 は、キャリア供給層 6 中のドナー ( $\text{Si}$ ) からチャネル層 4 を隔絶するために形成される。

## 【0006】

このような HEMT は、ヘテロ接合を用いた FET であって、電子が走行する結晶領域 ( $\text{GaIn}$  層 4) と、電子を供給する結晶領域 ( $n\text{-AlGaIn}$  層 6) とをヘテロ接合 14 によって空間的に分離し、電子がドナー不純物によって散乱されるのを減少させること (即ち、 $\text{GaIn}$  層 4 にはドナー不純物が存在しないこと) により、ソース・ドレイン間での電子移動度を増大させ、高速性を向上させたトランジスタである。

## 【0007】

しかし実際には、図 9 に示すように、ヘテロ界面に生成される 2 次元電子ガスの濃度 ( $n_s$ ) 及び移動度が減少し、これによって能動層 4 の電導率が低下し、素子特性を悪化させる。

## 【0008】

この原因を調べた結果、図 13 に SIMS (secondary ion mass spectroscopy) で得られたスペクトルが示すように、 $\text{Mg}$  をドーピングした  $\text{GaIn}$  バッファ層 3a の上のアンドープ  $\text{GaIn}$  チャネル層 4 に、 $10^{17} / \text{cm}^3$  以上の  $\text{Mg}$  が混入していることが確認され、能動層のキャリア濃度と移動度が減少する原因となっていることがわかった。

## 【0009】

この理由として、上記した  $\text{Mg}$  の原料ガスの蒸気圧が  $0.5 \text{ mmHg}$  程度と低いため、それを導びく配管及び反応管に吸着した  $\text{Mg}$  の原料ガスのパージに時間がかかり、 $\text{GaIn}$  バッファ層 3a 上にアンドープ  $\text{GaIn}$  チャネル層 4 を成長させるとき、その成長中に配管などに付着した  $\text{Mg}$  の原料ガスが放出されて  $\text{Mg}$  が  $\text{G}$



a Nチャネル層4にオートドーピングされることが考えられる。

【0010】

また、図14に示すように、上記のMgドーブGaNバッファ層3aに代えてアンドープGaNバッファ層3bを2.0 $\mu$ m厚に成長し、更にアンドープAlGaNスペーサー層5を3nm厚に、n-AlGaN:Siキャリア供給層6を20nm厚に、アンドープAlGaNキャップ層7を15nm厚にそれぞれ成長させた場合には、図9に示すように高い移動度を示し、能動層の電導率の低下は生じないが、アンドープGaNバッファ層3bのシート抵抗は10k(キロ) $\Omega$ 程度にすぎず、絶縁性は不十分である。

【0011】

そこで本発明の目的は、窒化物からなるIII-V族化合物半導体装置に好適であって、能動層の電導率の低下を抑制しつつ、電氣的に良好な素子分離を行える高抵抗で絶縁性に優れた窒化物層と、その形成方法を提供し、更にはその窒化物層を用いて半導体装置の特性を向上させることにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

即ち、本発明は、窒化物からなるIII-V族化合物半導体に、主としてIIB族元素を高濃度に添加してなる絶縁性窒化物層、及びこの窒化物層を具備する半導体装置に係るものである。

【0013】

また、本発明は、窒化物からなるIII-V族化合物半導体を気相成長法によって成膜するに際し、室温での蒸気圧が10mmHg以上の不純物含有ガスを前記III-V族化合物半導体の原料ガスと共に供給して、前記不純物を高濃度に添加した絶縁性窒化物層を形成する、絶縁性窒化物層の形成方法を提供するものである。

【0014】

更に、本発明は、前記半導体装置の製造において、

前記窒化物からなるIII-V族化合物半導体を気相成長法によって成膜するに際し、室温での蒸気圧が10mmHg以上の不純物含有ガスを前記III-V

族化合物半導体の原料ガスと共に供給して、前記不純物を高濃度に添加した前記絶縁性窒化物層を形成する工程と、

しかる後に、この絶縁性窒化物層上に、能動層を気相成長させる工程とを有する、半導体装置の製造方法も提供するものである。

#### 【0015】

本発明によれば、MISFET又はHEMT素子等においてチャネル層の下層として、不純物をドーピングすることにより絶縁性に優れた窒化物層を設ける場合、主としてIIB族元素（特に亜鉛）を不純物として高濃度にドーピング（添加）しているので、窒化物層が優れた絶縁性を呈して素子分離を十分行えると共に、窒化物層の成膜時にIIB族元素の原料ガスが高い蒸気圧（特に10mmHg以上）を示すことから、速やかにパージされる不純物原料ガスを用いることができる。この結果、絶縁性窒化物層の上に能動層を気相成長させる際に、不純物原料ガスが効果的に放出されていて、不純物が能動層にオートドーピングされることを抑制できるので、能動層の電導率の低下を生じさせることなく、高速性に優れた素子特性を容易に得ることができる。従って、能動層が高電導率に保持され、素子分離も良好に行える窒化物からなるIII-V族化合物半導体装置を提供することができる。

#### 【0016】

このように、窒化物からなるIII-V族化合物半導体材料に、不純物として例えばZnをドーピングすることにより、不純物を高濃度に添加した絶縁性窒化物層を容易に得ることができ、抵抗率がシート抵抗で0.3M（メガ）Ω以上と極めて高い絶縁性窒化物層を容易に形成でき、能動層の電導率の低下を生じさせることなく、高速性に優れた素子特性が得られる（図9参照）。また、この絶縁性窒化物層を、III-V族化合物半導体装置の素子分離等に適用することが可能であり、この抵抗率が極めて高い絶縁性窒化物層を例えばMISFET又はHEMT素子のチャネル層の下部に設けることにより、高速性に優れた特性のトランジスタを容易に実現できる。

#### 【0017】

#### 【発明の実施の形態】

本発明において、上述した課題を達成する上で、上記の絶縁性窒化物層には、主として前記IIB族元素（更には、実質的に前記IIB族元素のみ、特に、少なくとも亜鉛）を不純物として高濃度に添加することが望ましい。

## 【0018】

このIIB族元素の添加量は、窒化物層の高絶縁性（高抵抗化）を図るため、即ち必要に耐えうる抵抗値を得るため、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上であるのが望ましく、更には層が有するキャリアによるアンドープレベルによらず十分な抵抗値を得る上で $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であるのが望ましい。

## 【0019】

そして、上記不純物の原料ガス（不純物含有ガス）として、主としてIIB族元素（少なくとも亜鉛）の化合物ガスを使用し、この化合物ガスの室温での蒸気圧が10mmHg以上であることが不可欠であり、この値より蒸気圧が小さいとパージし難くなり、オートドーピングを防止し難くなる。こうした高蒸気圧の不純物原料ガスの具体例としては、ジエチル亜鉛（DEZn）、ジメチル亜鉛（DMZn）等のアルキル亜鉛が挙げられる。

## 【0020】

上記不純物の添加については、その添加量は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上（更に好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上）とするのがよい。例えば、有機金属気相成長法を用いた窒化物からなるIII-V族化合物半導体の結晶成長において、Znを不純物として $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上添加する。この不純物添加量の上限は、その不純物の母材に対する飽和溶解濃度である。

## 【0021】

この絶縁性窒化物層を成長させる基板として、絶縁性のサファイア基板を用いることが好ましいが、絶縁性のサファイア基板以外にも、SiC基板のように導電性を有する基板を用いる場合においても、本発明を適用できることは言うまでもない。

## 【0022】

また、下記の表1には各種の有機金属化合物の蒸気圧を示すが、本発明において窒化物層に対する不純物ドーピング原料として、DEZn、DMZnの他に、

不純物原料ガスとして室温での蒸気圧が 1 0 m m H g 以上の原料であれば、ジメチルカドミウムなどを用いても、上述したと同様の効果が期待されることは言うまでもない。

【 0 0 2 3 】

【表 1】

表 1 II族有機金属原料の蒸気圧

不純物 元素	有機金属化合物ガス	化学式	蒸気圧	備考
Cd	ジメチルカドミウム	$(CH_3)_2Cd$	28.4mmHg at20℃	
Mg	ビス(シクロペンタジエニル)マグネシウム	$(C_5H_5)_2Mg$ 又は $Cp_2Mg$	0.03mmHg at20℃	
Mg	ビス(メチルシクロペンタジエニル)マグネシウム	$(CH_3C_5H_4)_2Mg$ 又は $(MeCp)_2Mg$	0.44mmHg at35℃	融点：29℃
Zn	ジエチル亜鉛	$(C_2H_5)_2Zn$	302mmHg at20℃	
Zn	ジメチル亜鉛	$(CH_3)_2Zn$	12.2mmHg at20℃	

【 0 0 2 4 】

本発明において、上記の窒化物からなるIII-V族化合物半導体は、Ga N、Al N、In N、BN、又はこれらの混合結晶からなっていてよい。これらのII I-V族化合物半導体はいずれも、上記したIIB族元素のドーピングによって絶縁性窒化物となるものであるが、III-V族化合物半導体装置の他の層の構成材料となり得るものでもある。

【 0 0 2 5 】

即ち、本発明の半導体装置は、前記窒化物からなるIII-V族化合物半導体を構成材料の少なくとも一部に用いた半導体装置であって、電界効果トランジスタ、バイポーラトランジスタ、発光ダイオード、半導体レーザ及びフォトダイオードのいずれか1種又はそれ以上の素子を集積化する場合の素子分離層として、少なくとも前記絶縁性窒化物層が用いられてよい。

【 0 0 2 6 】

図 1 には、本発明に基づくHEMTの構造例を示すが、図 1 3 に示した従来例と根本的に異なる構成は、アンドープGa N核形成層 2 上に、Znをドーピングしたシート抵抗 0. 3 M Ω 以上の高抵抗のGa Nバッファ層 3 cを成長させ、更に、Ga Nチャネル層 4 をヘテロ接合界面 1 4 を介して成長させていることであり、その他は同様に構成されている。

【0027】

この例によれば、特に、能動層4下のZnドープのGaNバッファ層3cが高抵抗で十分な絶縁性を示すので、共通のサファイア基板1上に設けた他の素子（図示せず）との間を良好に絶縁分離できると共に、上述したように能動層4への不純物のオートドーピングが抑制され、その電導率を良好に保持することができる。

【0028】

本発明が適用可能な他のデバイスとして、図10にMISFETの構造例、図11にMESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) の構造例をそれぞれ示すが、これらについては後述する。

【0029】

なお、本発明が適用可能なデバイスは、絶縁分離が必要なものであれば種々のデバイスであってよく、またその絶縁分離方法もメサ型構造、プレーナ構造等が可能である。また、デバイスの構成やその材料等も限定されるものではなく、種々変更してよい。

【0030】

【実施例】

次に、本発明を実施例について更に詳細に説明する。

【0031】

例1

薄膜成長用のサファイア基板として(0001)C面基板を用いた。結晶成長には、横型の有機金属気相成長炉：MOVPE炉を用い、成長圧力は常圧、原料にはトリメチルガリウム(TMGa)、ビス(メチルシクロペンタジエニル)マグネシウム((MeCp)<sub>2</sub>Mg)、ジエチル亜鉛(DEZn)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)を使用し、V族/III族比は、約2,400~12,000で成長を行った。

【0032】

図2に、作製した試料の構造を示す。サファイア基板1上にはGaN核形成層2を30nm厚に設けてあり、その後、成長温度を1100℃として、アンドー

ブGaN層8を厚さ1.0 $\mu$ mに成長させた後、Mg及びZnをコドープしたGaN層9を1.0 $\mu$ m厚に、アンドープGaN層10を1.0 $\mu$ m厚に成長させた。この時、TMGaおよびNH<sub>3</sub>の濃度 (mole fraction) はそれぞれ、 $6.5 \times 10^{-5}$ 、0.4とし、V族/III族比は約6000とした。Mg及びZnの濃度はそれぞれ、 $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ であり、高い抵抗値を有する絶縁性GaN層を得るのに十分な条件とした。

## 【0033】

図3は、Mg及びZnの濃度の分布を示すSIMS分析結果である。データは、それぞれの設計値により規格化した値を示す。Mgの分布とZnの分布を比較すると、Znが急峻なプロファイルでドーピングされていることが分る。一方、Mgはドーピング開始時の立ち上がりの遅れと、ドーピング停止時の立ち下りの遅れがあり、Znドーピングに比べて有意な差として読みとれる。例えば、ドーピング停止後、0.2 $\mu$ m表面側では、Znの濃度が約1/100に低下しているのに対し、Mgの濃度は約1/10にしか低下していない。

## 【0034】

このことから、ドーピング原料としてジエチル亜鉛 (DEZn) を用いることにより、絶縁性GaN層を急峻なプロファイルで作製することが可能となった。

## 【0035】

例2

図4に、作製した試料の構造を示す。サファイア基板1上にはGaN核形成層2を30nm厚に設け、その後、成長温度を1100℃として、Mg又はZnをドープしたGaN層3dを1.8 $\mu$ mから2.0 $\mu$ mの厚みに成長させた。この時、TMGa及びNH<sub>3</sub>の濃度 (mole fraction) はそれぞれ、 $6.5 \times 10^{-5}$ 、0.4とし、V族/III族比は約6000とした。また、(MeCp)<sub>2</sub>Mg、DEZn、ジメチル亜鉛 (DMZn) の濃度を、 $3 \times 10^{-8}$ から $1 \times 10^{-4}$ として成長させた。

## 【0036】

図5に、原料ガスの供給量に対して、GaN層中に取り込まれたMg及びZnの濃度を示す。Zn濃度として $1 \times 10^{16}$ から $10^{19}/\text{cm}^3$ まで制御性良く膜

が得られている。また、Znの取り込まれ率はMgのそれに比べて2桁程度小さいことが分かった。また、Zn濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の試料のシート抵抗値は0.3M（メガ）Ω以上であることも確認された。

## 【0037】

図6に、Zn濃度に対する膜のシート抵抗値（任意スケール）を示す。抵抗値がZn濃度の増大に伴って増大していることが分かる。

## 【0038】

図7に、ZnドープGaN層中のZn及びC濃度のSIMS分析結果を示す。基板との界面近傍と最表面を除く膜中のZn及びCの濃度が、それぞれ $6 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 、 $6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 程度であることがわかる。この結果から、上記の成長条件では、膜中のCの濃度が $6 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 未満であることが確認された。

## 【0039】

なお、このようにC（カーボン）の濃度がかなり低いことは、Znが主としてドーピングされることを意味するが、これは原料としての $\text{NH}_3$ がCのドーピングを抑制するためであると考えられる。また、原料ガスとしてTMGaに代えてトリエチルガリウム（TEGa）を用いると分解し易く、生じたカーボンが排出され易いために、カーボンのドーピングが更に抑制されるものと考えられる。

## 【0040】

例3

薄膜成長用のサファイア基板として（0001）C面基板を用いた。結晶成長には、横型のMOVPE炉を用い、成長圧力は常圧、原料にはトリメチルガリウム（TMGa）、トリメチルアルミニウム（TMA1）、モノメチルシラン（ $\text{CH}_3\text{SiH}_3$ ）、アンモニア（ $\text{NH}_3$ ）を使用し、V族／III族比は、約2,400～12,000で成長を行った。

## 【0041】

図1に、作製した高移動度トランジスタ（HEMT）の構造を示す。厚さ1.8μmの絶縁性GaNバッファ層3cのGaN成長にはTMGaを用い、成長温度は1100℃とした。GaN層3cとサファイア基板1の間にはGaN核形成

層 2 を 3 0 n m 厚に設けた。G a N チャネル層 4 は 2 0 0 n m の厚みとし、また、アンドープ A l G a N スペーサー層 5 を 3 n m 厚に、n - A l G a N キャリア供給層 6 を 2 0 n m 厚に、アンドープ A l G a N キャップ層 7 を 1 5 n m 厚に成長させた。ジエチル亜鉛を原料ガスとして成膜した、Z n をドーブした絶縁性 G a N バッファ層 3 c における Z n 濃度は  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上であり、シート抵抗値は 0. 3 M (メガ)  $\Omega$  以上であった。

## 【 0 0 4 2 】

図 8 に示すように、C - V 測定により深さ方向のキャリア濃度分布を測定したところ、能動層 4 のヘテロ界面 1 4 でのキャリア濃度は  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  を超え、Z n ドーブした G a N 層 3 c でのキャリア濃度は  $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$  以下であることが確認された。

## 【 0 0 4 3 】

この時、図 9 に示すように、ヘテロ界面に生成される 2 次元電子ガス濃度  $n_s$  及び移動度は、アンドープ G a N バッファ層を用いた場合と同等な値を示し、かつ能動層の電導率が低下していないことが確認された。

## 【 0 0 4 4 】

なお、ゲート電極 1 2 にはゲート長 ( d ) 1. 0  $\mu \text{m}$  の電極を用いて変調を行ったところ、最大遮断周波数 1 0 G (ギガ) H z を得ることができ、M g をドーピングした絶縁性 G a N バッファ層 3 a を用いた場合 (図 1 3 参照) の 9 G H z に対して、特性向上を達成できた。

## 【 0 0 4 5 】

例 4

薄膜成長用のサファイア基板には ( 1 1 2 0 ) A 面基板を用いた。結晶成長には横型の M O V P E 炉を用い、成長圧力は常圧、原料にはトリメチルガリウム ( T M G a ) 、トリメチルアルミニウム ( T M A l ) 、モノメチルシラン ( C H <sub>3</sub> S i H <sub>3</sub> ) 、アンモニア ( N H <sub>3</sub> ) を使用し、V 族 / I I I 族比は、約 2 , 4 0 0 ~ 1 2 , 0 0 0 で成長を行った。

## 【 0 0 4 6 】

図 1 0 に、作製したトランジスタ ( M I S F E T ) の構造を示す。G a N 層と



サファイア基板 1 の間には約 600℃ の温度で成長した AlN 核形成層 2a を 50 nm 厚に設け、その後、成長温度を 1100℃ に上げ、ジエチル亜鉛を不純物原料ガスとして用いて成膜した、Zn をドーピングした絶縁性 GaN バッファ層 3c を 1 μm 以上の厚みに成長させた。Zn をドーピングした絶縁性 GaN バッファ層 3c における Zn 濃度は  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上であり、シート抵抗値は 0.3 (メガ) Ω 以上であった。

## 【0047】

この上に、Zn 及び Mg をコドーピングした GaN 層 9 を 1 μm 程度の厚みに成長させた。この時、Mg の濃度は  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  以上であり、後工程にて電子線照射等の活性化により、p 型導電層を形成した。そして、上記の絶縁性 GaN バッファ層 3c と同一組成の、Zn をドーピングした絶縁性 GaN バッファ層 3c' を同様に、Zn 濃度:  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上、膜厚 300 nm 以上で成長させた。

## 【0048】

GaN チャネル層 4 は 200 nm の厚みとし、また、アンドープ AlGaIn 絶縁層 7 の厚みを約 40 nm とした。後工程において、アンドープ AlGaIn 絶縁層 7 に SiO<sub>2</sub> マスク及び RIE (リアクティブイオンエッチング) を用いて窓開けを行い、ここに Si ドープ GaN 層 6 を再成長させることにより、ソース及びドレインコンタクト層を作製した。

## 【0049】

また、マスクプロセス、エッチングプロセスにより、Zn ドープの GaN 層 3c' 等の加工、Zn 及び Mg をコドーピングした GaN 層 9 の表面出し、及び GaN 層 3c'、9 及び 3c による素子間分離、各電極 11、12、13、15 の形成を行った。

## 【0050】

このようにして作製した FET は第 4 の電極である取り出し電極 15 を用いることにより、チャネルの変調特性の制御を行うものである。

## 【0051】

この例でも、ヘテロ界面に生成される 2 次元電子ガス濃度及び移動度は、アン

ドーピングGaNバッファ層を用いた場合と同等な値を示し、かつ能動層の電導率が低下していないことが確認された。

【0052】

#### 例5

図11には、本発明を適用したGaN MESFETの構造例を示す。このMESFETでは、基板1上に、数 $\mu\text{m}$ 厚のZnドーピングGaN高抵抗バッファ層3cと、0.2～0.5 $\mu\text{m}$ 厚のn型能動層24を、気相エピタキシャル法により成長させた。電流の出し入れを行うためのソース電極11a、ドレイン電極13aと、整流性ショットキー・ゲート12aを形成した。ゲート電圧により、ゲート下の電子空乏層の厚みを変化させ、ソースドレイン間の電流を制御して動作させる。

【0053】

#### 【発明の作用効果】

本発明は、上述したように、不純物をドーピングすることにより絶縁性に優れた窒化物層を設ける場合、主としてIIB族元素（特に亜鉛）を不純物として高濃度にドーピング（添加）しているので、窒化物層が優れた絶縁性を呈して素子分離を十分行えると共に、窒化物層の成膜時にIIB族元素の原料ガスが高い蒸気圧を示すことから、速やかにパージされる不純物原料ガスを用いることができる。この結果、絶縁性窒化物層の上に能動層を気相成長させる際に、不純物原料ガスが効果的に放出されていて、不純物が能動層にオートドーピングされることを抑制できるので、能動層の電導率の低下を生じさせることなく、高速性に優れた素子特性を容易に得ることができる。従って、能動層が高電導率に保持され、素子分離も良好に行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明に基づく絶縁性窒化物層を有するAlGaN/GaN HEMTの構造例の概略断面図である。

#### 【図2】

同、Mg及びZnドーピング界面の急峻性を評価するための試料構造の概略断

面図である。

【図 3】

同、Mg 及び Zn のドーピング界面の急峻性を示す SIMS 分析結果を示すグラフである。

【図 4】

同、Mg 又は Zn ドーピングによる濃度評価のための試料構造の概略断面図である。

【図 5】

同、ドーピング濃度を比較して示すグラフである。

【図 6】

同、Zn 濃度によるシート抵抗の変化を示すグラフである。

【図 7】

同、Zn 及び C 濃度を比較して示すグラフである。

【図 8】

本発明に基づく絶縁性窒化物層を有する AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT の構造例のキャリア濃度の深さ分布を示すグラフである。

【図 9】

AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT におけるシートキャリア濃度 ( $n_s$ ) と移動度の関係を比較して示すグラフである。

【図 10】

本発明に基づく MISFET の構造例の概略断面図である。

【図 11】

本発明に基づく Ga<sub>N</sub> MESFET の構造例の概略断面図である。

【図 12】

AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT の従来構造の概略断面図である。

【図 13】

同、HEMT 構造における Mg の SIMS 分析結果を示すグラフである。

【図 14】

アンドープ Ga<sub>N</sub> バッファ層上に作製した AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT の構

造の概略断面図である。

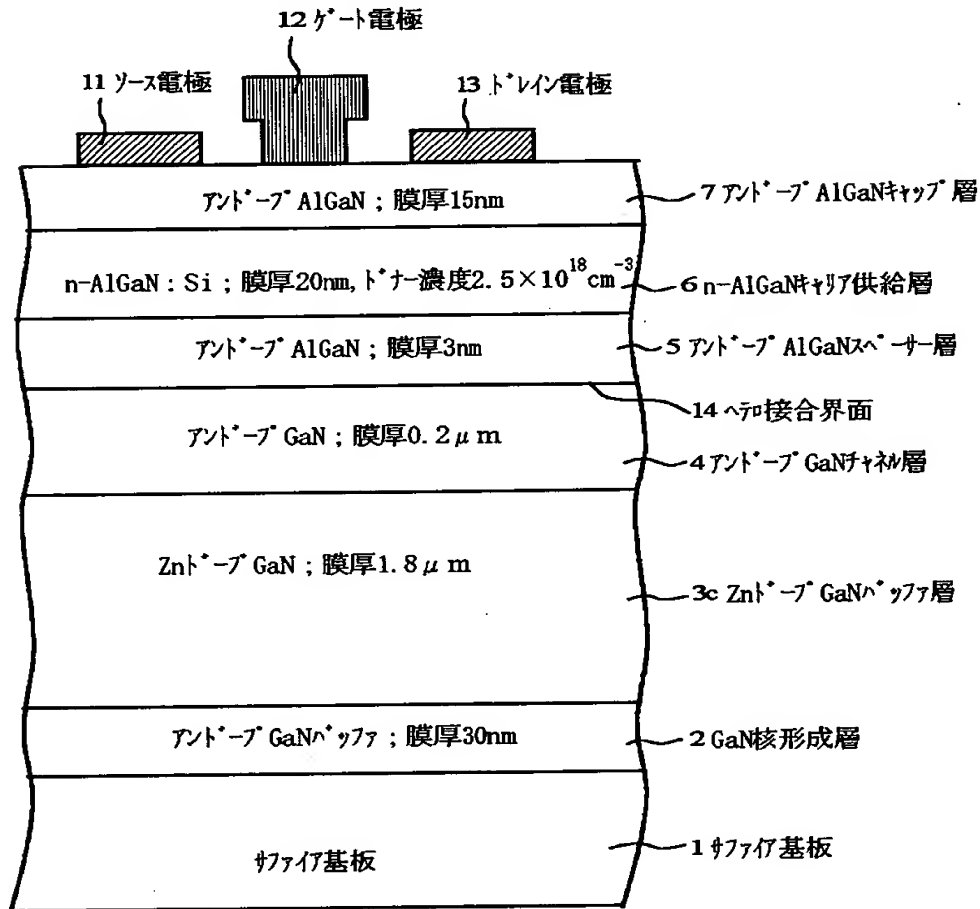
【符号の説明】

- 1 …サファイア基板、 2 …G a N核形成層、 2 a …A l Nバッファ層、
- 3 a …M g ドープG a N層、 3 b …アンドープG a N層、
- 3 c、 3 c' …Z n ドープG a Nバッファ層、
- 3 d、 9 …M g 及びZ n ドープG a N層、 4 …アンドープG a Nチャンネル層、
- 5 …アンドープA l G a Nスペーサー層、 6 …n - A l G a Nキャリア供給層、
- 7 …アンドープA l G a Nキャップ層、 8、 1 0 …アンドープG a N層、
- 1 1 …ソース電極、 1 2 …ゲート電極、 1 3 …ドレイン電極、
- 1 4 …ヘテロ接合界面

【書類名】 図面

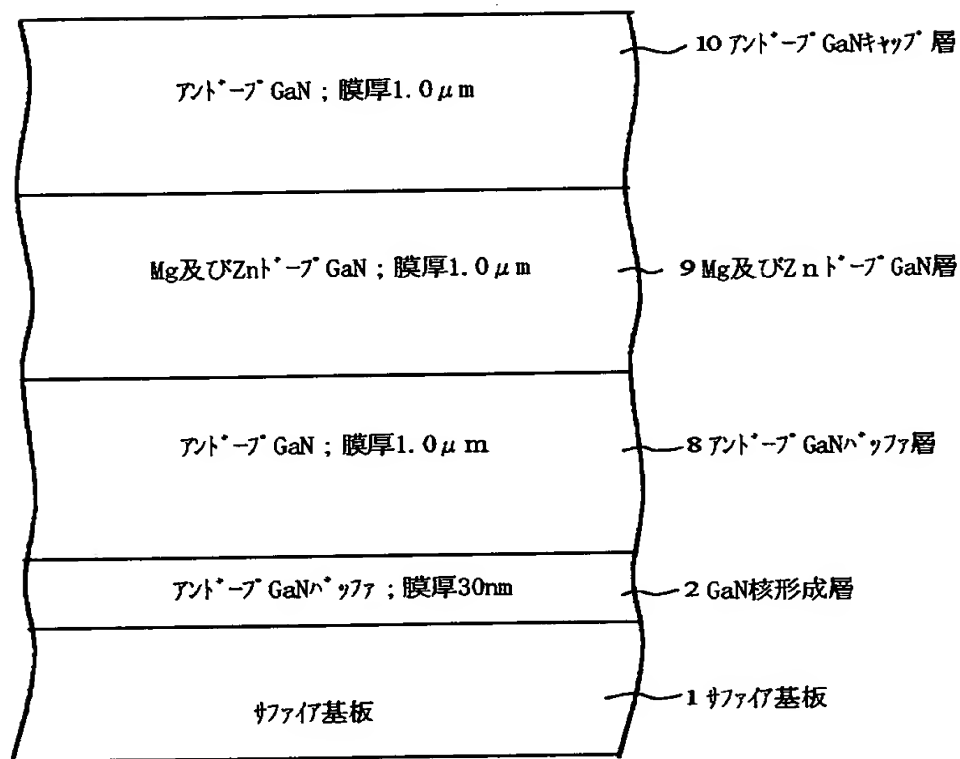
【図1】

本発明に基づく絶縁性窒化物層を有するAlGaIn/GaN HEMTの構造例



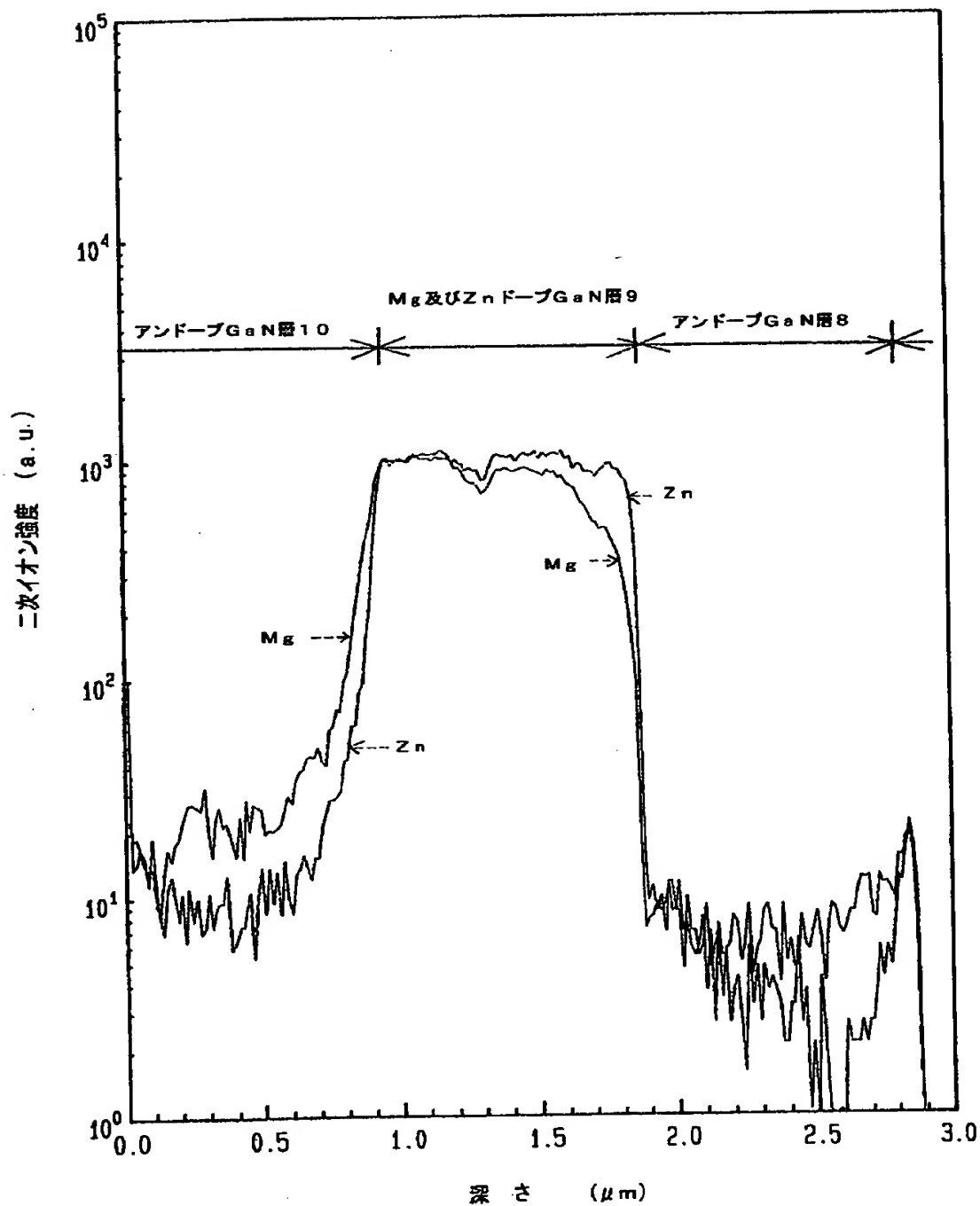
【図2】

Mg及びZn<sup>+</sup>-ドープ GaN 界面の急峻性を評価するための試料構造

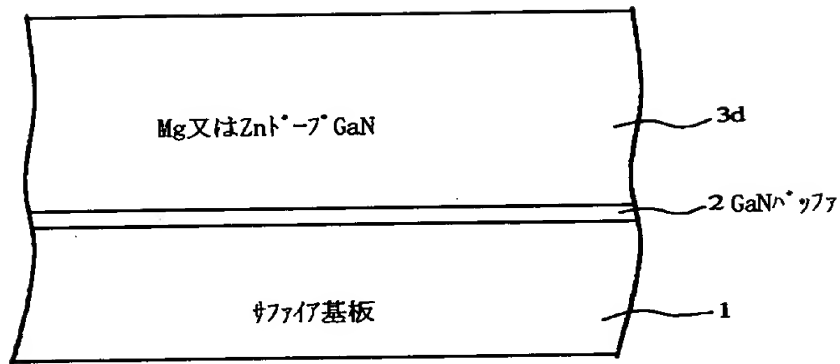


【図 3】

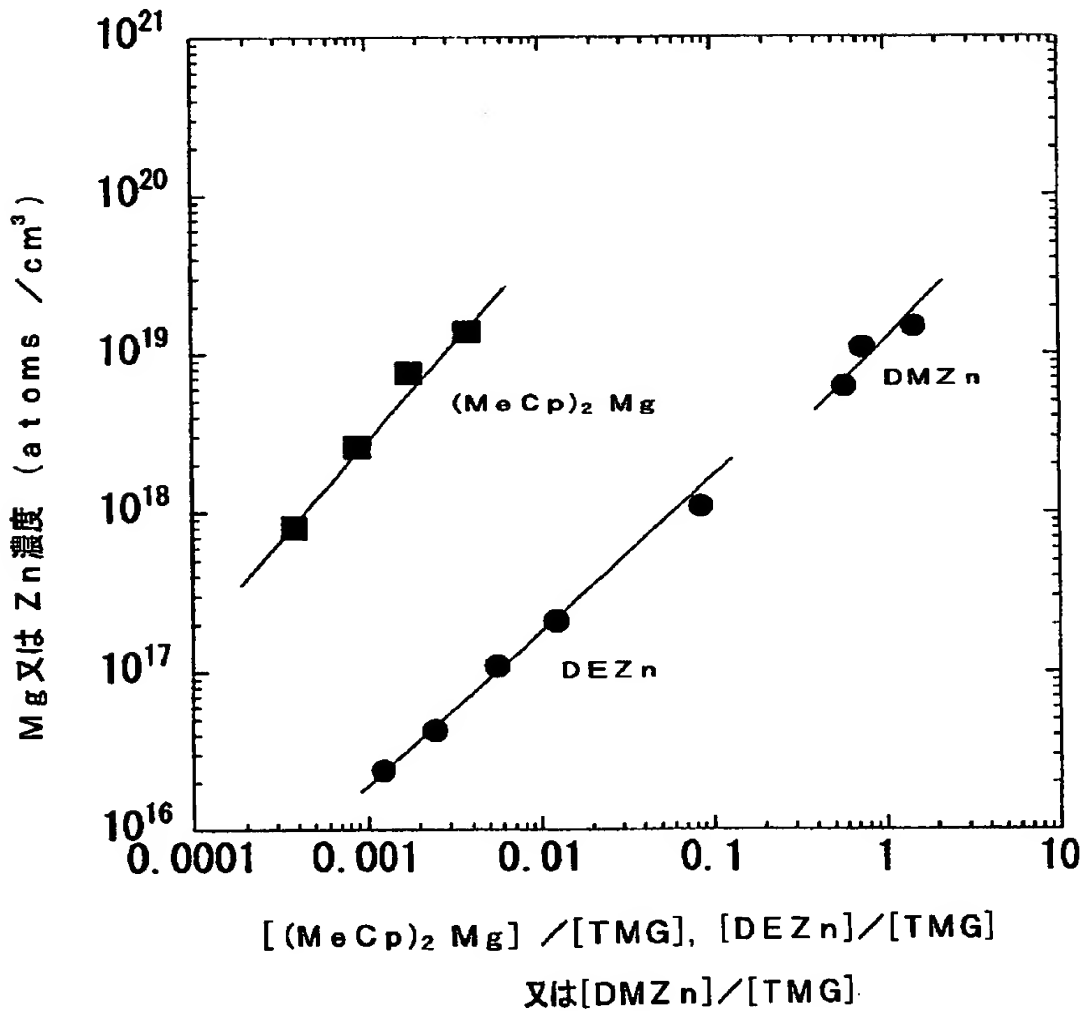
Mg及びZnのドーピング界面の急峻性を示すSIMS分析結果



【図 4】

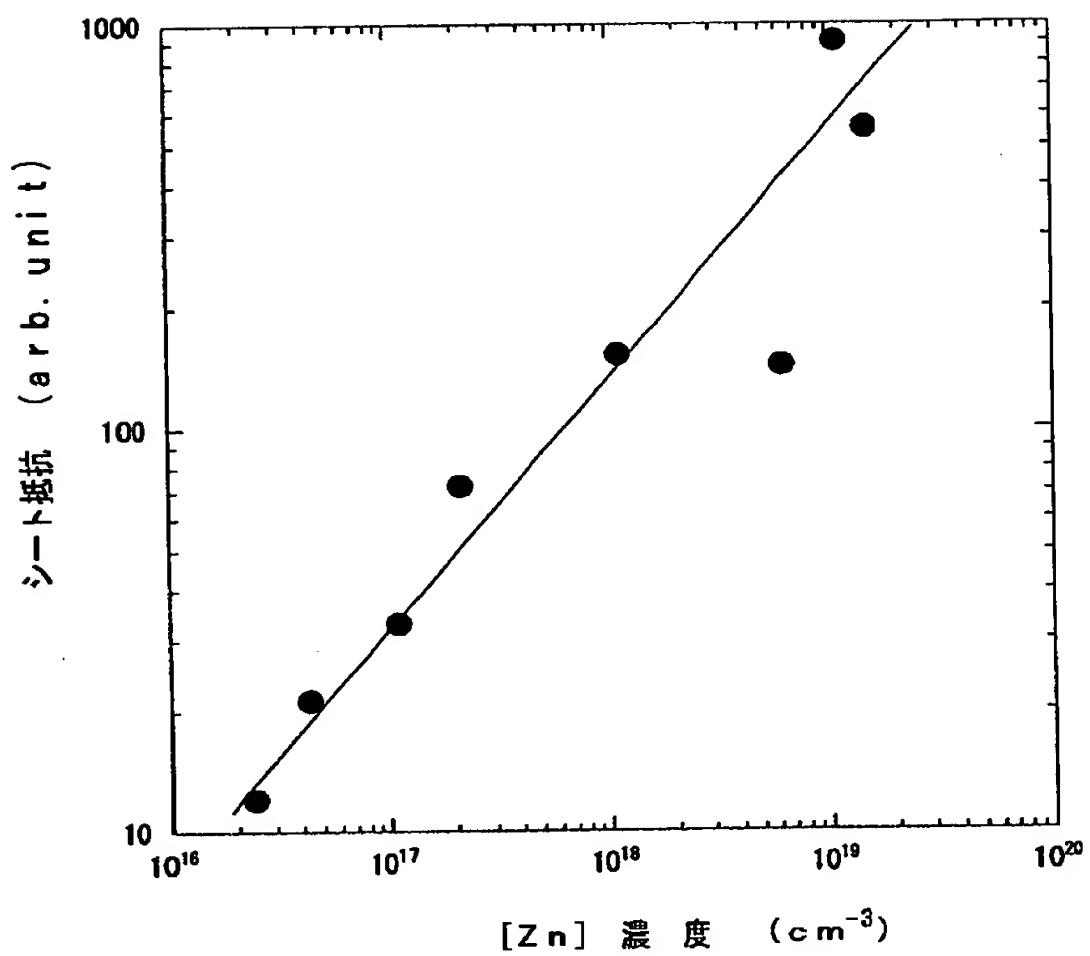


【図 5】

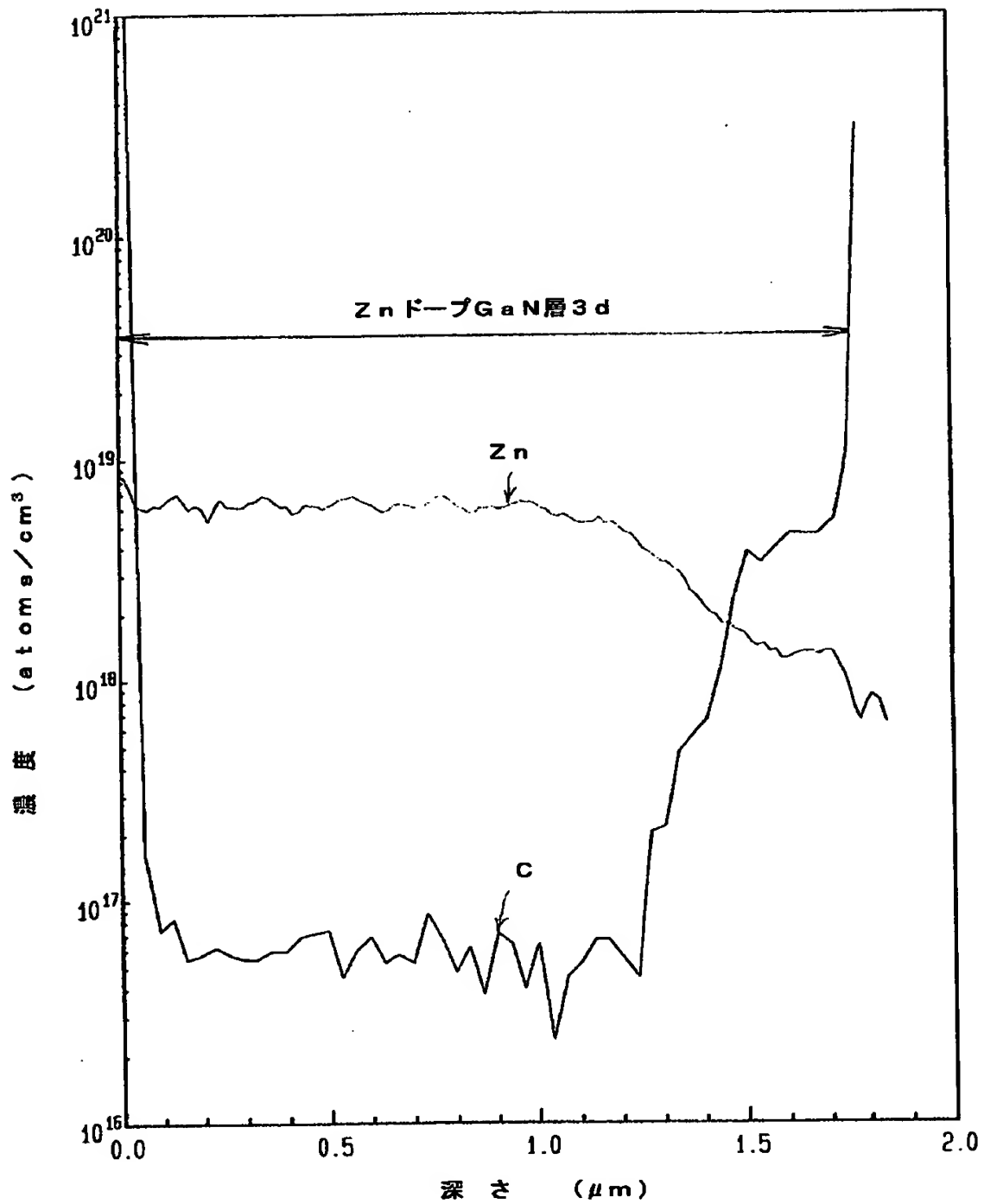




【図 6】

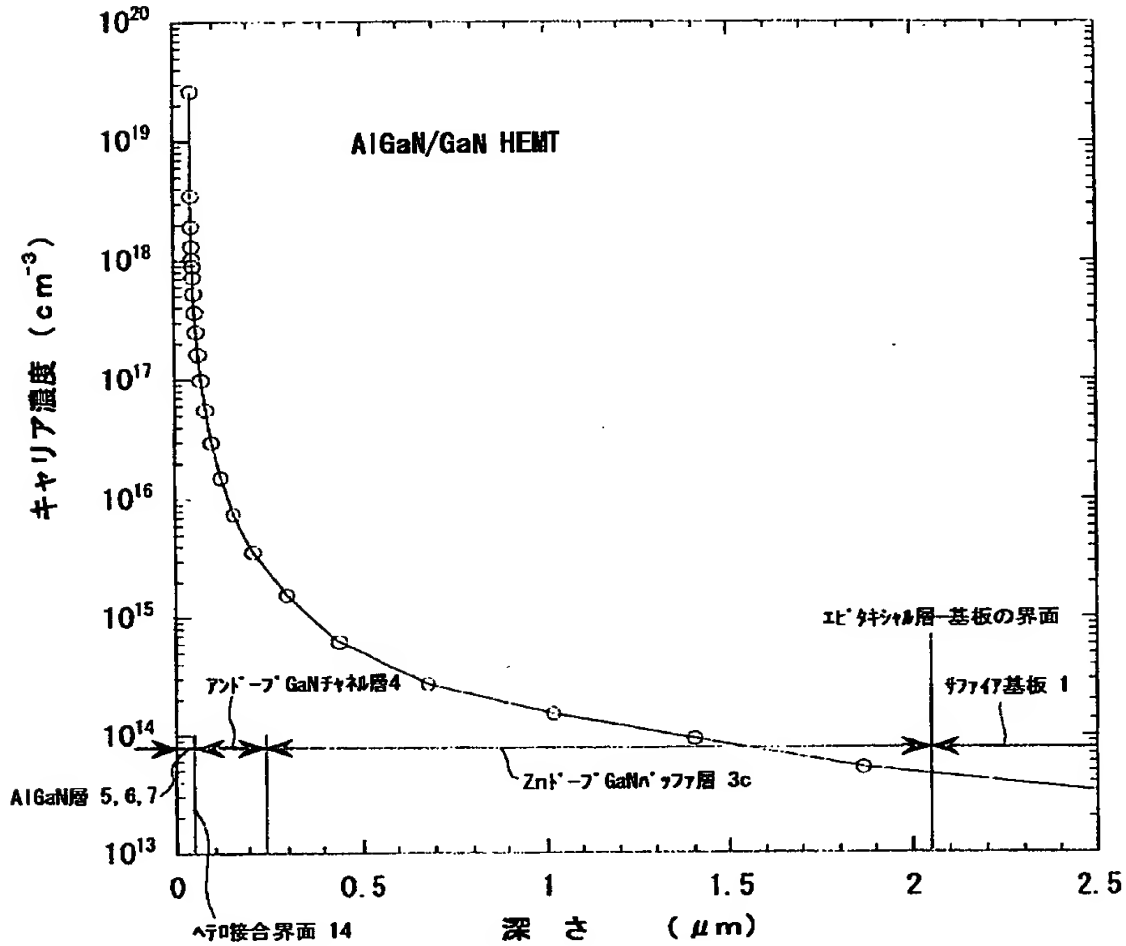


【図 7】



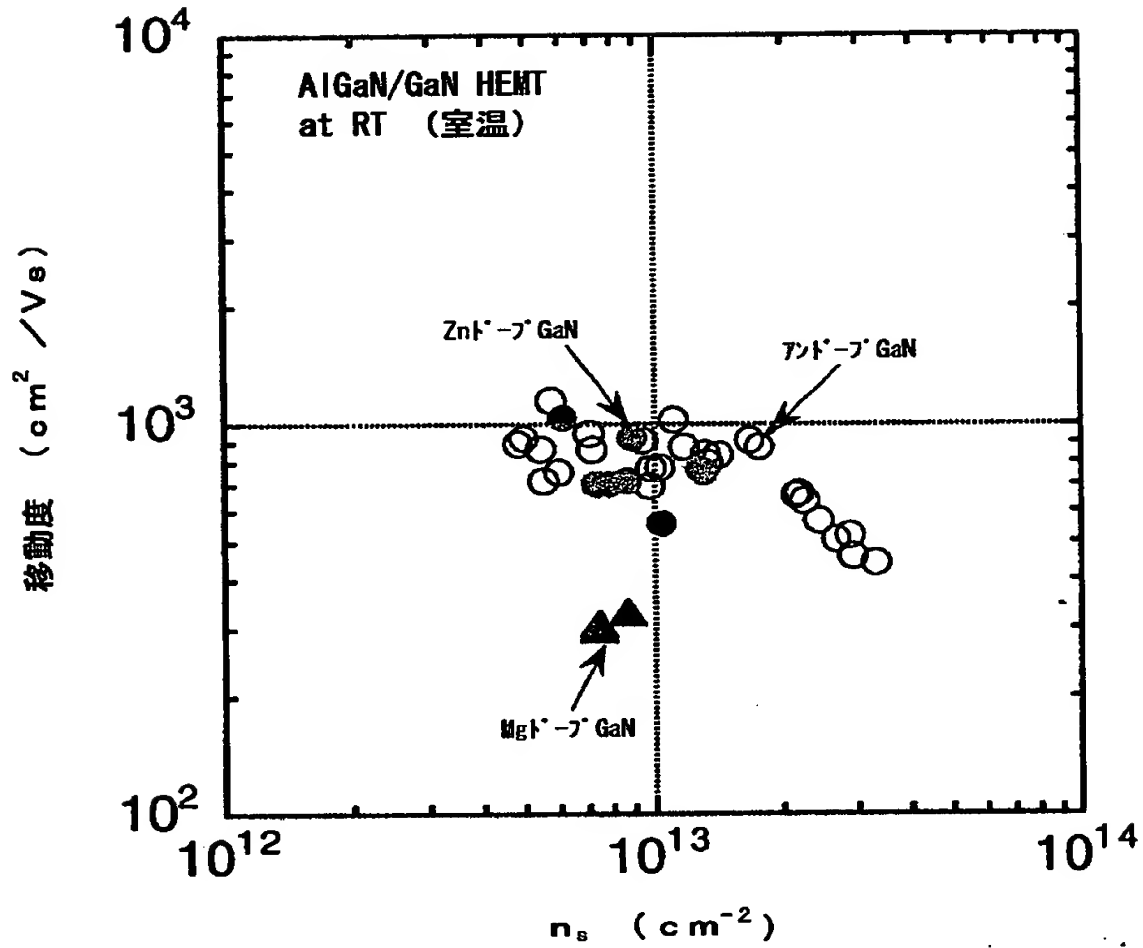
【図 8】

本発明に基づく絶縁性窒化物層を有する  
AlGaIn/GaN HEMT の構造例のキャリア濃度の深さ分布



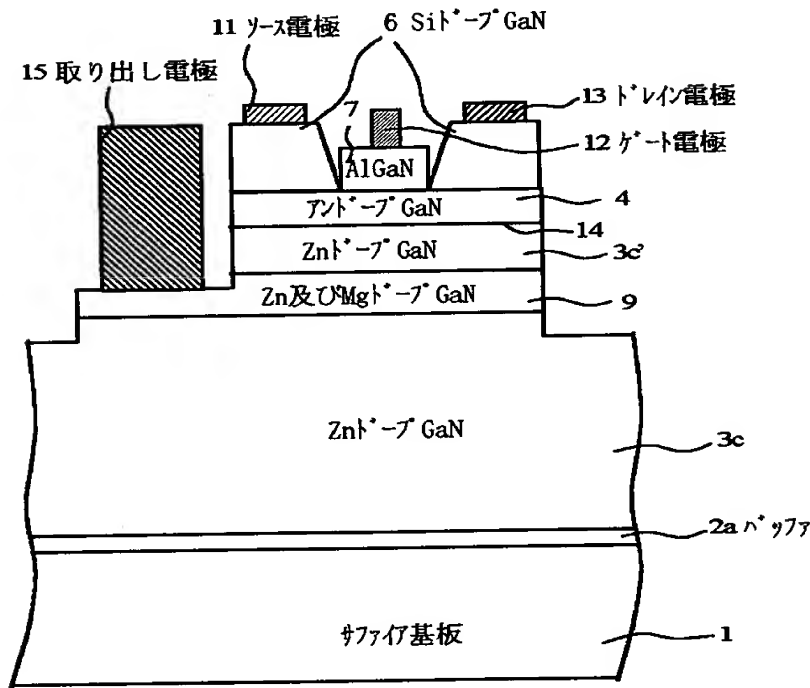
【図9】

シートキャリア濃度 ( $n_s$ ) と移動度の関係



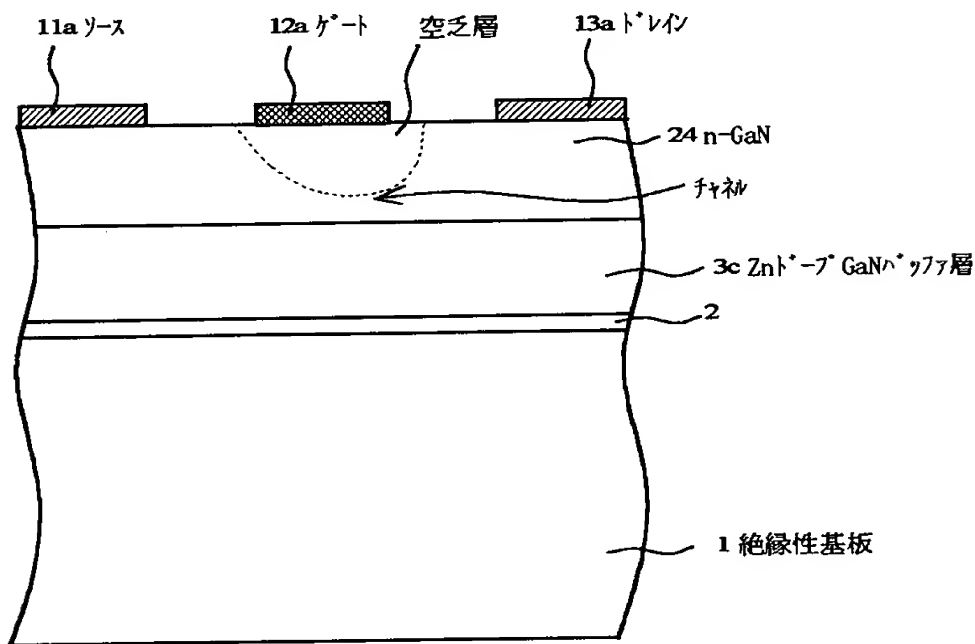
【図10】

取り出し電極を有するMISFETの例



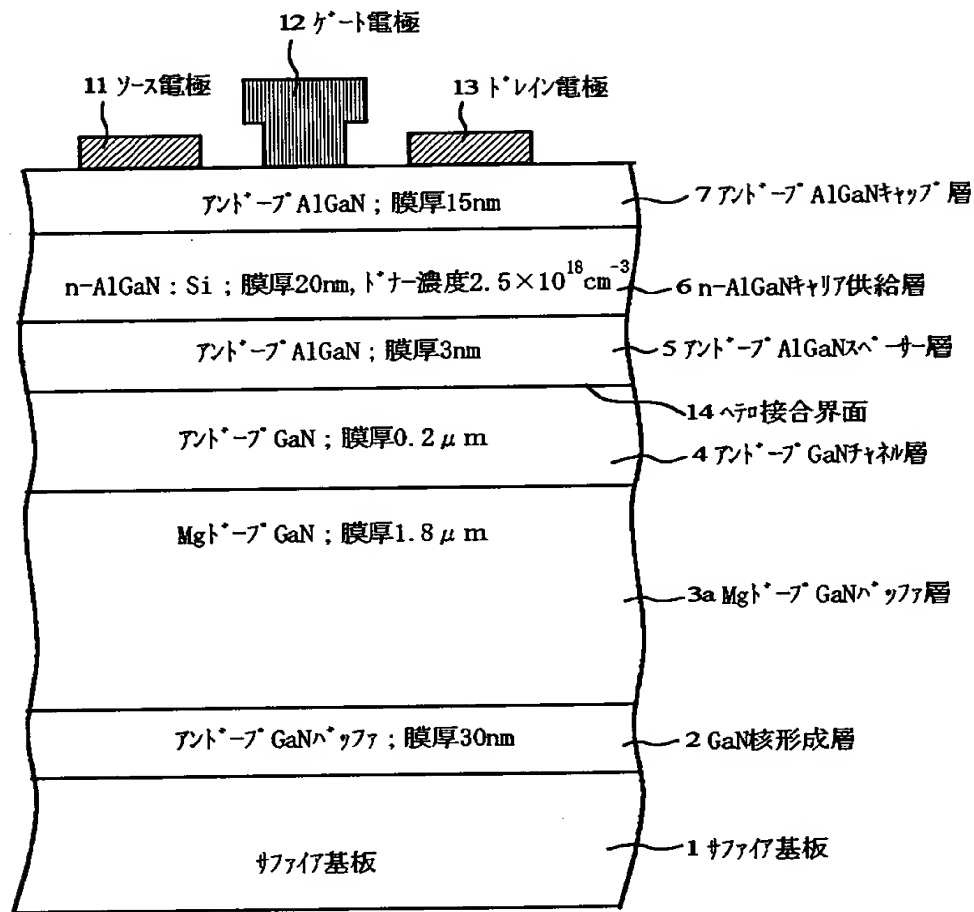
【図11】

GaN MESFETの構造例



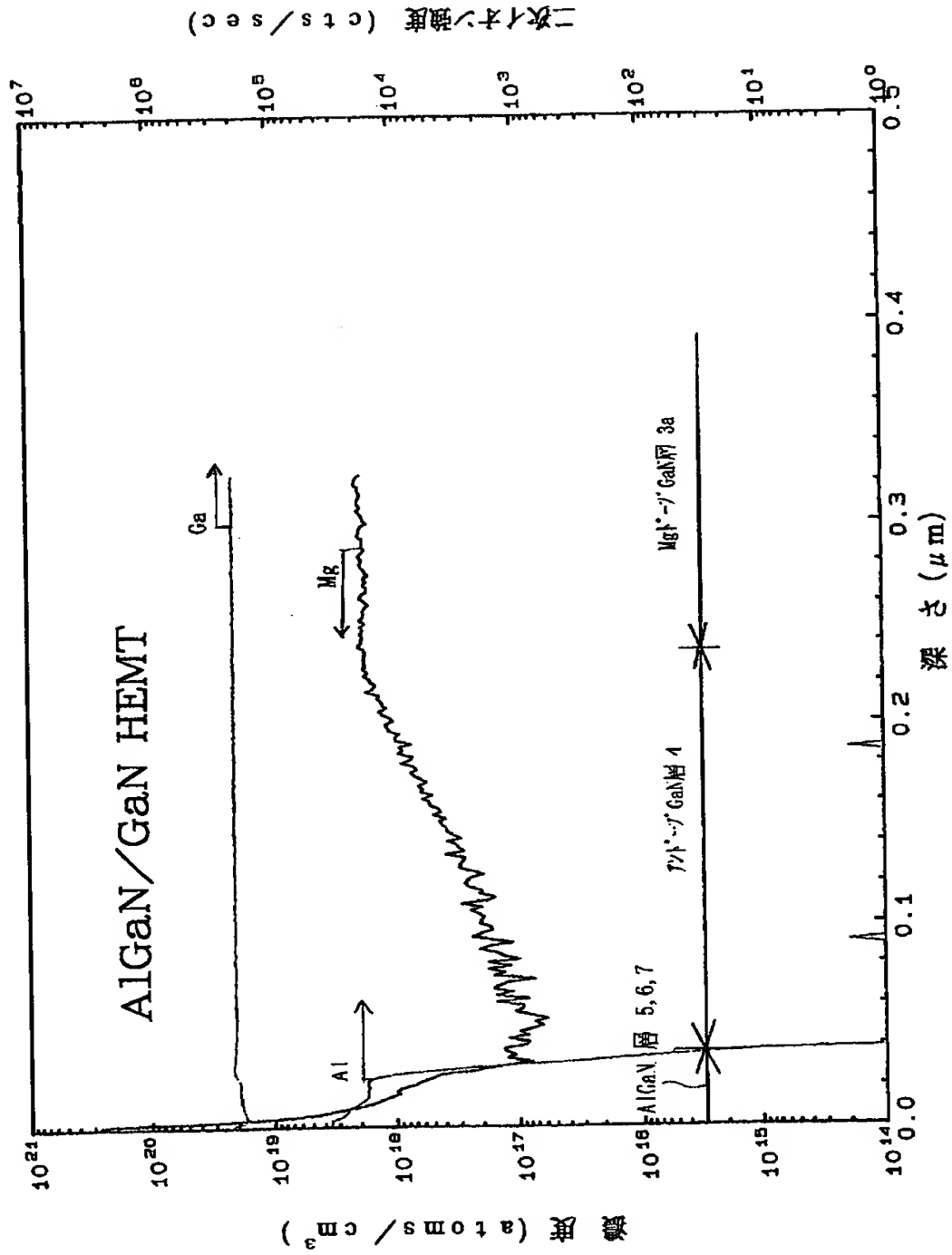
【図12】

AlGaN/GaN HEMTの従来構造



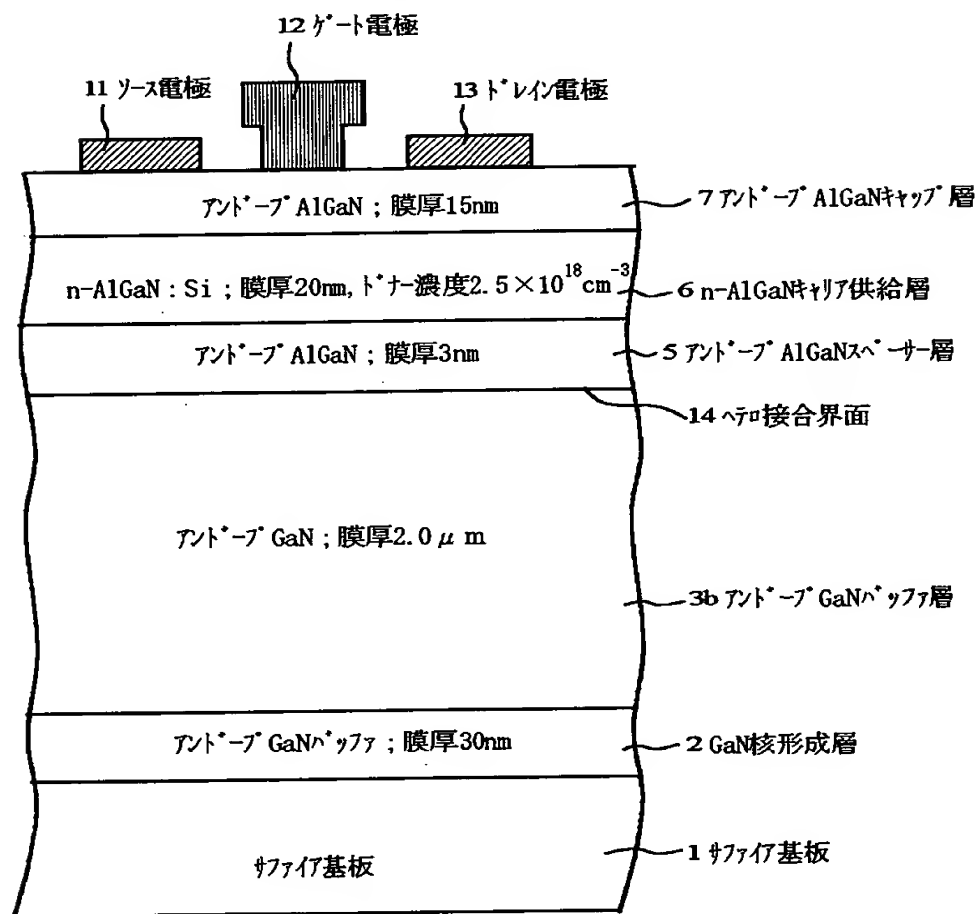
【図 13】

HEMT構造におけるMgのSIMS分析結果



【図 1 4】

アンダー・ブ GaNハッファ層上に作製したAlGaIn/GaN HEMTの構造





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 窒化物からなるIII-V族化合物半導体装置に好適であって、能動層の電導率の低下を抑制しつつ、電氣的に良好な素子分離を行える高抵抗で絶縁性に優れた窒化物層と、その形成方法を提供し、更にはその窒化物層を用いて半導体装置の特性を向上させること。

【解決手段】 窒化物からなるIII-V族化合物半導体に、主としてIIB族元素（特にZn）を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上と高濃度に添加してなる絶縁性窒化物層3c、及びこの窒化物層をGaN能動層4下に具備するAlGaN/GaN HEMT等の半導体装置。

【選択図】 図1

特 2000-241581

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-241581
受付番号	50001018059
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成12年 8月10日

### <認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年 8月 9日
-------	-------------

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名 ソニー株式会社